簡介農作物光譜

利用光譜遙測估測與追蹤稻株氮素狀態

◎農試所農藝組 張芳銘 楊純明

一、氮肥對水稻生產及米粒品質之影響

水稻是臺灣地區最重要的糧食作物，它提供了國人基本維生的糧食，在民生和國防上具有深遠意義。水稻栽培具有生產、生活、生態等『三生』功能，其生產過程中，需要不同的營養元素供給，滿足生長與發育的各項需求。在營養元素當中，氮素肥料對產量的增補作用大於其他元素，因而適時適量的添補氮素肥料，不僅有助於生長的旺盛，也能夠強化收穫物的基質來源與蓄積而提升產量。

由文獻資料得悉，稻穀產量係由單位面積穗數、一穗粒數、稔實率及穀粒大小所組成，除了穗數在水稻生育早期形成之外，其餘三項產量構成要素均在營養生長中期以後貢獻。其中，單位面積穗數乃在水稻生育的最高分蘗期決定，一穗粒數在最高分蘗期至幼穗形成期之間量化，稔實率及千粒重則在抽穗後確認。此外，幼穗形成期環境將影響穎花大小，而穀粒大小則受到穎花大小之限制，因此而改變結實率及千粒重。所以，產量構成要素在這些時期的表現，會受到土壤或外加氮素的供應量影響。

再者，稻株營養生長期間是分蘗數和葉數增加的時期，植體中氮濃度越高越能促進分蘗數和葉面積，光合成的能力也相對提高，具有正面的效應。而稻株小穗的分化能力高低，控制了儲存能力及產量容量，若在幼穗形成期能有充足的日照及適量的氮肥配合，則花序上的小穗數及穎花大小將顯著增加。由此可知，水稻從插秧後至開花期間均需要氮素持續的供應，而其中之營養生長期和幼穗形成期是兩個關鍵時段，若能提供適量的氮素，即有機會得到好的生產株型與高的產量。然而，戴及林(1992)於民國八十年代在台中地區調查四個縣市共計1150名農民，分別對其施肥次數及施肥量進行調查，發現無論粳稻、秈稻或糯稻，氮肥以施用四次居多，且氮肥施用量達 220 kg ha^{-1}。可見國內農民一般在氮肥施用次數及施用量上偏多偏高，確實有待改善。

稻株體內的氮營養狀況會表現於水稻的生理反應和外觀型態上。例如，水稻葉片中葉綠素的濃度和葉片的光合作用能力及葉片中的氮含量成正相關，當氮素不足時，葉綠素的合成受限，葉色變淡甚至產生黃化現象，老葉則可能提早枯萎，也將出現分蘗數減少、葉片狹長及植株矮化等現象。若氮肥供給過多，又易造成氨的毒

作　　者：張助理研究員芳銘
聯絡電話: 04-23302301-144

害，或因營養器官過度繁茂導致穀粒填充不飽滿，影響稻米產量及品質。而土壤的酸化、土質的劣化及鹽類物質滲流入水源等問題，則可能進一步引起環境污染與生態破壞。

一般學者均認爲不適當的氮肥施用量及施用方式，會使水稻吸收過量的氮肥，造成葉色過於濃綠柔軟莖桿軟弱，致容易遭受病蟲害的侵襲。若於節間伸長期間吸收過多氮肥，將使節間過度伸長而植株過高，進而減少稻株對倒伏的抗性。蔡(1982）之研究指出施用氮肥雖能增大水稻生育初期之葉面積並提高物質生產量，但最後水稻會因碳水化合物減低而降低結實率。所以，儘管施用大量氮肥也不一定會使產量增加，反而造成許多負面的作用。

適量之氮肥有利於提高產量及蛋白質含量，從營養觀點而言，高蛋白質米飯對於人類養分之攝取是有利的。惟另一方面，若是米飯中蛋白質含量太高，又會影響米飯食味品質。因此，在兼顧營養及食味的要求下，氮肥的施用量及施用方法就必須特別重視。不足或過量均非適宜，如何正確評估稻株的氮素狀態施予適量的氮肥，一直都是研究人員和農民追求與努力的目標。現行栽培水稻的氮肥施用方式，農民一般是依據過往的經驗來判別並施用，通常因不同人而有不同的施肥量。大致上，係於水稻生長期間分別施用基肥、2~3次的追肥和穗肥，但完全依照個人經驗準則決定施肥的時間與用量。而這種以單位面積稱取固定量的撒播方式，乃立足於假平等基礎，未能做到依據稻株體內實際氮素狀況而進行之精準管理施作，確有改善的空間。

二、光譜遙測應用於氮肥精準管理之可行性

遙測技術具有對於被測物進行快速、非破壞及大面積量測的優點，可以迅捷的獲得被測物現行狀況之空間分佈資訊。光譜遙測技術一般係針對被測物的反射光譜進行偵測，取得被測物的反射光輻射甚至影像資訊，據以分析及歸納被測物當時所處的狀態和當時外顯的狀況，因此也可以評估環境的影響。所量測的光譜範圍可以自紫外光區至紅外光區，或更擴及至微波帶，所構建的被測物影像可以擷取自可見光、紅外光、或微波區段，甚至進一步選取三種不同波段構成彩色影像，端視遙測目的、被測物性質、感測器種類及當時的環境等條件而異。

早期的光譜遙測多採用可見光波段，直接由可見光影像判讀被測物，例如前臺灣省糧食局對於水稻栽培面積及產量估測即採用此一方法。其後演進爲多頻(光)譜的掃描，利用綠光、紅光、近紅外光及熱紅外光波段進行對被測物的觀測，使得被測物特性的評估及追蹤成爲可行。目前廣義的光譜遙測已擴及微波區段的利用，無論光譜或空間的解析力均有顯著進步，應用的範圍及層面廣泛、深入而多樣化。

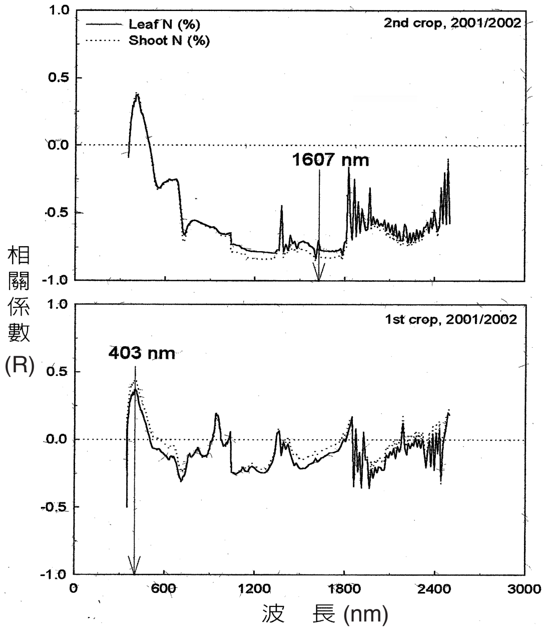
光譜遙測在農業生產的應用亦相當普遍，見及文獻與實務運作，包括各種農業災害所造成的農作物損失估計、氣象環境的影響、作物逆境的研究、土壤與作物的分類、作物生育與產量的估測等等。由於綠色植物的葉綠素成分影響，葉片及植被的反射光譜將呈現在藍光與紅光段較低而在綠光段較高的分佈，且各光譜波段的反射值隨葉綠素濃度增加而下降。由於氮肥

改變作物的葉面積、乾物重、株高、葉綠素濃度及地面覆蓋率等性狀，預期將改變植被的反射光譜，相關的光譜特徵亦將相對應變動，具有利用於評估作物氮營養狀態的潛力。

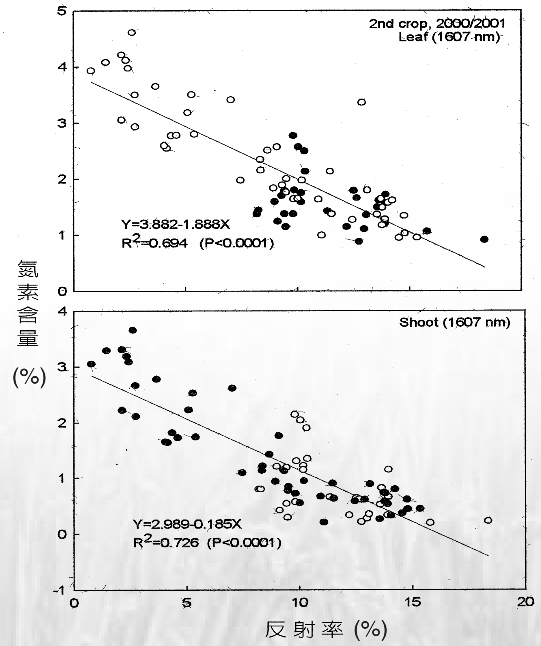
三、估測與追蹤稻株氮素狀態之光譜特徵

爲瞭解光譜遙測技術是否可利用於估測與追蹤水稻植體氮素狀態， 乃於2000年~2002年間在行政院農委會農業試驗所農場(臺中縣霧峰鄉)進行計二年四期作 (一、二期作各兩年份) 田間栽培試驗，以水稻臺農67號品種 (*Oryza sativa* L. cv. TNG67) 爲試驗材料，由施用不同氮肥等級(分爲0、30、60、90、120及150 kg ha^{-1} 等六級) 產生不同稻株氮素含量及植被覆蓋，來探討水稻植被反射光譜 (350-2400 nm) 之改變，並篩檢與稻株葉片與植體氮素狀態有關之光譜特徵。

由研究結果顯示，水稻植被反射光譜類似一般綠色植物之植被反射光譜，然而細緻的光譜曲線變化反映出環境變異及氮肥處理引起的光譜差異。經分析光譜範圍各窄波段反射比與稻株葉片或植體氮素含量之簡單直線相關，發現光譜範圍之各窄波段反射比與葉片或地上部植體氮素含量的關係並不一致，各窄波段反射比在一期作期間與氮素狀態之關係未達顯著水準 (｜r｜＜0.5)，在二期作期間則以近紅外光及短波紅外光之反射比與氮素狀態關係顯著(圖一)；在相關係數絕對值最大的1607 nm位置，其直線相關之決定係數(R^2)在葉片與植體分別高達 0.694及 0.726 (圖二)。由此可知，水稻植被反射光譜與



圖一、光譜範圍各窄波段反射比與稻株葉片或地上部植體氮素含量之簡單直線相關強度曲線。



圖二、水稻植被反射光譜中直線相關係數絕對值最大的1607 nm位置之反射比與葉片及地上部植體氮素含量之迴歸關係。

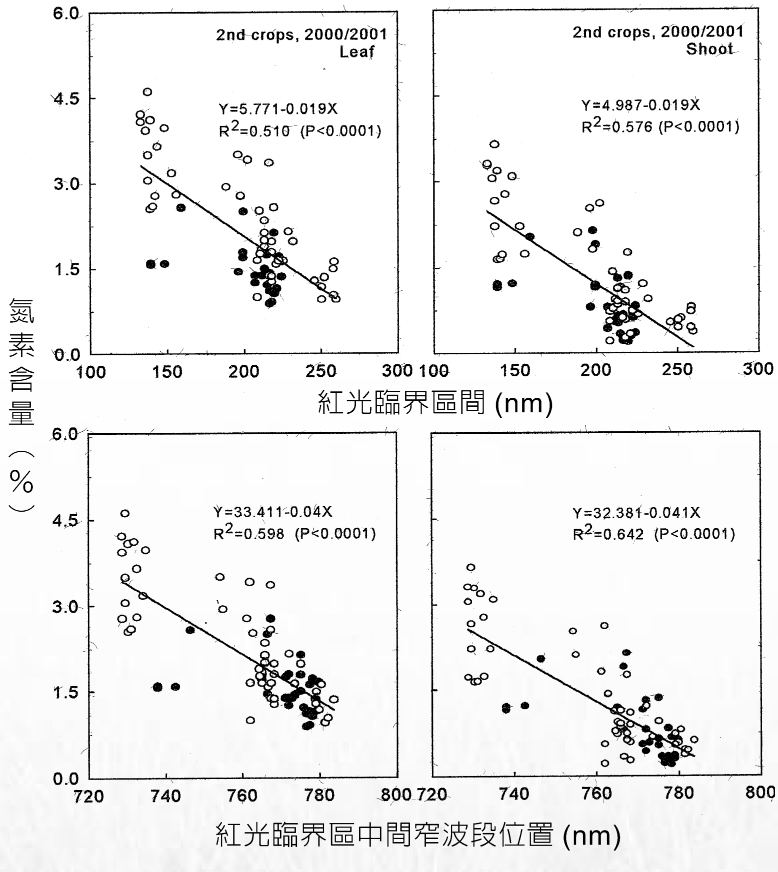
葉片及植體的氮素含量關係在二期作較爲密切，而且可以單一窄波段 (1607 nm)反射比解釋 69%以上的氮素含量變異。

繼續分析11種不同光譜特徵及光譜指數與稻株氮素含量的關係，發現亦僅二期稻作植被反射光譜之紅光臨界區間 (red edge span)和紅光臨界區中間窄波段 (red edge mid-point)位置與葉片及地上部植體氮素含量達顯著直線相關(圖三，R^2>0.51)。顯示除了單一窄波段之外，植被反射光譜之紅光臨界區間和紅光臨界區中間窄波段位置等二項光譜特徵，也能利用於估測二期作稻株之氮素狀態。

最後，由共線性診斷(collinearity diagnostics)及逐步迴歸分析(step-wise regression analysis)篩檢與氮素有關之多個特徵窄波段，試以建立多元線性複迴歸模式。根據分析結果，發現一、二期作水稻均可利用多元線性複迴歸模式估測稻株氮素狀態，其中適用一期作稻株葉片及地上部植體的最佳三元 (403 nm、630 nm及1363 nm)直線複迴歸模式決定係數(R^2)分別可達 0.773及0.757，二期作相對的最佳三元(403 nm、556 nm及1607 nm)直線複迴歸模式決定係數則分別可達 0.752及0.807(表一)。此項研究比較這些三元直線複迴歸模式的估測值與實測值後，顯示無論葉片或地上部植體氮素含量均近於1：1的驗證結果(決定係數均大於 0.75)。顯然的，藉由多元線性複迴歸模式可以涵蓋多個特徵窄波段，增加了對稻株氮素狀態的估測準確度，也提高了利用於估測及追蹤稻株氮素狀態的可行性，並使得氮肥精準管理更加務實。

四、結語

氮肥是提高和穩定水稻生產最重要的肥料，但也是最不容易正確施用的肥料，因爲稻株在不同時期需要不等量之氮素供



圖三、紅光臨界區間(red edge span)和紅光臨界區中間窄波段位置(red edge mid-point)與葉片及地上部植體氮素含量之關係。

表一、葉片及地上部植體氮素含量與特徵窄波段之多元線性複迴歸模式

期作、年代、項目	$Y=a+bR_{\lambda 1}+cR_{\lambda 2}+dR_{\lambda 3}$				R^2	P
	a	b	c	d		
一期作,2001/2002						
葉片N(%)	0.942	1.427	-0.525	0.056	0.773	<0.0001
地上部植體N(%)	0.002	1.334	-0.450	0.042	0.757	<0.0001
二期作,2000/2001						
葉片N(%)	2.819	0.662	-0.198	-0.125	0.752	<0.0001
地上部植體N(%)	1.809	0.772	-0.246	-0.107	0.807	<0.0001
一期作, 2001/2002						
葉片N(%)	λ1=403 nm, λ2=630 nm, and λ1=1363 nm					
地上部植體N(%)	λ1=403 nm, λ2=630 nm, and λ3=1363 nm					
二期作, 2000/2001						
葉片N(%)	λ1=403 nm, λ2=556 nm, and λ3=1607 nm					
地上部植體N(%)	λ1=403 nm, λ2=556 nm, and λ3=1607 nm					

給，才能獲得有利的株型及生長，並成就優良的產量構成要素。然而，土壤中的氮素及外添的氮素肥料容易流失，如何適時的施用適量的氮肥確實是項課題，必須佐以合適的檢測技術。以往對於作物氮素狀態的檢測係以破壞性的取樣為主，歷經耗時費力的化學分析，以得到取樣點的資訊。光譜遙測技術提供了適當的切入點，能夠迅即取得非破壞性的大面積作物植體氮素狀態的分佈資訊，突破了傳統農業經營管理上的缺憾，使得進行區域性的氮肥精準管理成為具體可行，值得吾人持續深入研究，早日達到精準管理氮肥施用的目標。

五、參考文獻

林安秋、賴光隆、李祿豐。1979。中華農學會報 新128：1-6。

張正賢。1988。稻作學精要。國立編譯館，台北市。

楊純明、蘇慕容。1997。中華農業氣象 4：87-95。

戴登燦、林月金。1992。台中區農業改良場研究彙報 35：33~40。

蔡金川。1982。中華農業研究 31(3)：246-253。

謝順景。1979。台灣二期稻低產及解決方法研討會專集。p.49-58。臺灣省農業試驗所出版，臺中縣霧峰鄉。

Matsushima, S. 1966. Crop Science in Rice. Fuji Publishing Co., Ltd. Tokyo, Japan.

Murata, Y. 1969. p.235-263. In: Physiological Aspects of Crop Yield. J. D. Eastin and F. A. Bave, eds. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

Thomas, J. R. and G.F. Oerther. 1972. Agron. J. 64: 845-847

Walburg, G., M. E. Baure, C.S.T. Daughtry and T. L. Housley. 1982. Agron. J. 74：677-683.